

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2001127711 A

(43) Date of publication of application: 11.05.01

(51) Int. Cl

H04B 10/17

H04B 10/16

G02F 1/35

H01S 3/30

(21) Application number: 11306045

(71) Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22) Date of filing: 27.10.99

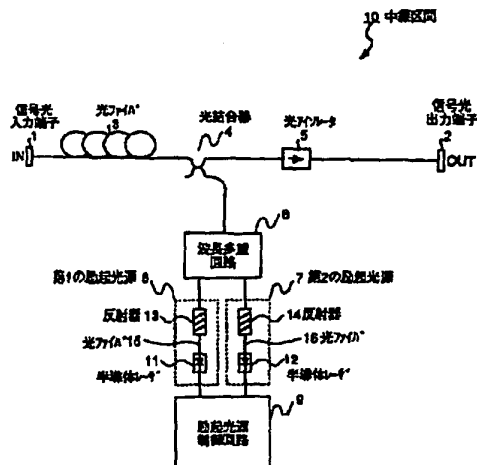
(72) Inventor: MOTOJIMA KUNIAKI

(54) OPTICAL AMPLIFYING AND REPEATING  
TRANSMISSION SYSTEM

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent transmission characteristics from deteriorating by suppressing the quantity of variation in Raman gain.

SOLUTION: First and second exciting light sources 6 and 7 constitute external resonators with semiconductor lasers 11 and 12, reflectors 13 and 14, and optical fibers 15 and 16 connecting the semiconductor laser 11 and 12 and reflectors 13 and 14 respectively, and emit exciting laser beams in substantially longitudinal single mode with mutually different wavelengths. A wavelength multiplexing circuit 8 multiplexes the exciting laser beams emitted by the 1st and 2nd exciting light sources 6 and 7 and outputs the resulting light onto an optical fiber 3 through an optical coupler 4 and on the optical fiber 3, the optical signal is processed by Raman amplification with the multiplexed and outputted exciting laser beam.



COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-127711  
(P2001-127711A)

(43)公開日 平成13年5月11日(2001.5.11)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>*</sup> (参考)
H 0 4 B 10/17		G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2
10/16		H 0 1 S 3/30	Z 5 F 0 7 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	H 0 4 B 9/00	J 5 K 0 0 2
H 0 1 S 3/30			

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

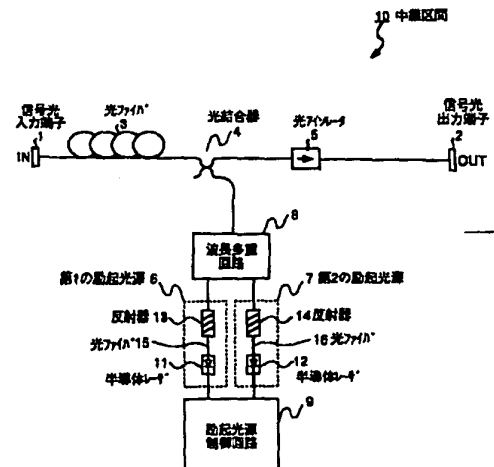
(21)出願番号	特願平11-306045	(71)出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(22)出願日	平成11年10月27日(1999. 10. 27)	(72)発明者	本島 邦明 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内
		(74)代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明 Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA04 CA15 DA10 HA23 5F072 AB07 AK06 PP07 QQ07 RR01 YY17 5K002 AA06 BA04 BA05 BA13 BA21 CA13 DA02 DA05 FA01

(54)【発明の名称】 光増幅中継伝送システム

(57)【要約】

【課題】 ラマン利得の変動量を抑えて伝送特性の劣化を防止すること。

【解決手段】 第1および第2の励起光源6、7は、それぞれ半導体レーザ11、12と、反射器13、14と、半導体レーザ11、12と反射器13、14とをそれぞれ接続する光ファイバ15、16とによって外部共振器を構成して、それぞれ異なる波長で実質的に縦シングルモードの励起レーザ光を出射する。波長多重回路8は、第1および第2の励起光源6、7から出射された励起レーザ光を合波し、光結合器4を介して光ファイバ3上に出力し、光ファイバ3上では、光信号が、合波出力された励起レーザ光によってラマン増幅される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光伝送路上に複数の波長の励起レーザ光を入力し、ラマン増幅効果によって該光伝送路上を伝送する光信号を増幅して中継する光増幅中継伝送システムにおいて、波長の異なる複数の縦シングルモードの励起レーザ光を出力する複数の励起レーザを有した励起手段を備え、各励起レーザから出射された縦シングルモードの各励起レーザ光を前記光伝送路上に合波出力して前記光信号をラマン増幅することを特徴とする光増幅中継伝送システム。

【請求項2】 前記複数の励起レーザは、半導体レーザと、前記半導体レーザから出射されたレーザ光を反射する反射器と、前記半導体レーザの出射端面と前記反射器とを接続し、前記励起レーザ光の波長に対応した所定長を有した光ファイバと、を備えたことを特徴とする請求項1に記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項3】 前記複数の励起レーザは、マルチセクションDBRレーザであることを特徴とする請求項1に記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項4】 前記複数の励起レーザは、前記光伝送路における中継区間の接続数を自然数Nとし、前記ラマン増幅によるラマン利得をGとしたときに、各励起レーザの直流から前記光信号の伝送速度に対応する周波数に至るまでの相対強度雑音の積分値が、 $0.01 / ((N^{1/4}) * \ln(G)^{(1/2)})$  以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の光増幅中継伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、励起レーザ光を光伝送路上に供給し、ラマン増幅効果によって該光伝送路上の光信号を増幅中継する光増幅中継伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 ラマン増幅効果を用い、光ファイバによる光伝送路上の光信号を増幅する分布型光ファイバ増幅器は、従来の3R (Reshaping: 波形再生, Retiming: タイミング再生, Regenerating: 再送信) 機能を有する光中継器と比較し、伝送速度に依存しない中継器の簡素化が可能であり、また波長多重による大容量化が可能である等の光伝送に望ましい特徴を有していることから、光通信システムの柔軟性を高めるキーコンポーネントとして期待されている。

【0003】 図3は、従来の光増幅中継伝送システムにおける一中継区間の構成を示す図である。光増幅中継伝送システム全体は、図3に示した中継区間20が波長域

続された構成となり、送信端には図示しない光送信器が接続され、受信端には図示しない光受信器が接続される構成となる。

【0004】 図3において、信号光入力端子21には、図示しない前段の中継区間の出力である光信号が入力される。信号光出力端子22からは、この中継区間20によって増幅された光信号が出力され、図示しない後段の中継区間に入力される。中継区間20における信号光入力端子21と信号光出力端子22との間は、光ファイバ23によって接続される。

【0005】 中継区間20は、波長多重回路28を有する。波長多重回路28は、第1の励起光源26および第2の励起光源27からの励起レーザ光を低損失で合波する。光ファイバ23上には、WDM (Wavelength Division Multiplexing) カプラによって実現される光結合器24が設けられ、波長多重回路28によって合波された励起レーザ光は、光結合器24を介して光ファイバ23上に入力される。

【0006】 波長多重回路28に入力される各励起レーザ光は、上述したように第1の励起光源26および第2の励起光源27によって発生される。励起光源制御回路29は、第1の励起光源26および第2の励起光源27の光出力を制御する。波長多重回路28から合波出力される励起レーザ光が光ファイバ23上に入力されると、ラマン増幅作用が生じ、光ファイバ23上における伝送損失が補償され、光ファイバ23上の光信号は、ほぼ同一電力レベルを維持した状態で伝送される。

【0007】 なお、光ファイバ23上には、さらに光アイソレータ25が設けられる。光アイソレータ25は、後段の中継区間におけるラマン増幅作用によって発生した自然放出光であって、光信号と逆方向に伝搬される自然放出光を遮断する。

【0008】 図4は、ラマン増幅利得の波長依存性を示す図である。図4において、特性34は、第1の励起光源26によって発生する励起レーザ光によるラマン増幅利得の波長依存性を示し、特性35は、第2の励起光源27によって発生する励起レーザ光によるラマン増幅利得の波長依存性を示す。また、特性36は、第1の励起光源26および第2の励起光源27の励起レーザ光を合波した励起レーザ光によるラマン増幅利得の波長依存性を示す図である。ラマン増幅作用は、第1の励起光源26あるいは第2の励起光源27が発生する励起レーザ光の波長から約90～100nm長波長側の波長を中心にそれぞれ50nmの増幅帯域を有する。

【0009】 したがって、たとえば、第1の励起光源26が発生する励起レーザ光の波長を1450nmとし、第2の励起光源27が発生する励起レーザ光の波長を1500nmとすると、それぞれの増幅帯域は100nm長波長側にシフトし、これら第1および第2の励起光源26、27が発生した励起レーザ光を合波した励起レー

ザ光による増幅帯域は1525～1625nmとなる。この結果、約100nmの増幅帯域をもたせることができる。このように、励起光源を複数設け、複数の励起レーザ光を合波することによって、増幅帯域を広げることができる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した光増幅中継システムでは、高出力の励起光源として、マルチモード発振を行う多縦モードレーザを用いていた。多縦モードレーザを励起光源として用いて増幅を行う場合、モード分配雑音光伝送路上に分散して強調され、大きな強度雑音が発生させる。

【0011】また、高出力の励起光源として、ファイバグレーティングによってコヒーレント・コラプス状態が発生させ、レーザ発振波長線幅を1nm以下に狭窄化した高出力レーザを用いる場合もある。このコヒーレント・コラプス状態を利用した擬似的単縦モードレーザは、レーザ発振波長線幅を狭くしているためモード分配雑音の影響は少ないが、原理的に強度雑音が大い。

【0012】これら励起光源の強度雑音は、ラマン利得Gの変動をもたらす。次式(1)は、ラマン利得Gを定義する式である。すなわち、

【数1】

$$G = \exp \left\{ \frac{g_R}{K} \cdot \frac{P_P}{A} \cdot L_{\text{eff}} \right\} \quad \dots (1)$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{1 - \exp(-\alpha_P \cdot L)}{\alpha_P}$$

である。ここで、「 $P_P$ 」は、光ファイバ23に入力される励起レーザ光の電力である。また、「 $L$ 」は、光ファイバ長である。また、「 $g_R$ 」は、ラマン利得係数であり、1.55μmにおいて $0.68 \times 10^{-13}$  [m/W]である。「 $A$ 」は、励起レーザ光のモードフィールド径であり、約50μm<sup>2</sup>である。「 $K$ 」は、信号光と励起光との偏波状態にかかわる係数であり、通常「2」の値である。「 $L_{\text{eff}}$ 」は、光ファイバ23の実効長である。「 $\alpha_P$ 」は、光ファイバ23の損失であり、0.4605 [neper/m]である。

【0013】式(1)を用いて、利得変動 $\Delta G$ は、次式(2)によって表すことができる。すなわち、

【数2】

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{g_R}{K} \cdot \frac{L_{\text{eff}}}{A} \cdot \Delta P_P \quad \dots (2)$$

である。ここで、「 $\Delta P_P$ 」は、励起レーザ光の電力変動量である。

【0014】したがって、励起光源の強度雑音によって励起レーザ光の電力 $P_P$ が変動すると、ラマン利得Gも変動することになる。このラマン利得Gの変動は、各中

継区間において積み重なり、受信器端では大きな伝送特性の劣化をもたらすという問題点があった。

【0015】この発明は、上記に鑑みてなされたもので、ラマン利得の変動量を抑えて伝送特性の劣化を防止することができる光増幅中継伝送システムを得ることを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明にかかる光増幅中継伝送システムは、光伝送路上に複数の波長の励起レーザ光を入力し、ラマン増幅効果によって該光伝送路上を伝送する光信号を増幅して中継する光増幅中継伝送システムにおいて、波長の異なる複数の縦シングルモードの励起レーザ光を出力する複数の励起レーザを有した励起手段を備え、各励起レーザから出射された縦シングルモードの各励起レーザ光を前記光伝送路上に合波出力して前記光信号をラマン増幅することを特徴とする。

【0017】この発明によれば、励起手段の各励起レーザが、それぞれ波長の異なる複数の縦シングルモードの励起レーザ光を出力し、各励起レーザから出射された縦シングルモードの各励起レーザ光を光伝送路上に合波出力して送信器端から入力された光信号をラマン増幅し、光伝送路上におけるモード分配雑音を除去してラマン利得の変動を抑えるようにしている。

【0018】つぎの発明にかかる光増幅中継伝送システムは、上記の発明において、前記複数の励起レーザは、半導体レーザと、前記半導体レーザから出射されたレーザ光を反射する反射器と、前記半導体レーザの出射端面と前記反射器とを接続し、前記励起レーザ光の波長に対応した所定長を有した光ファイバと、を備えたことを特徴とする。

【0019】この発明によれば、半導体レーザと反射器との間で外部共振器を構成し、所望のレーザ光を波長選択することによって実質的に縦シングルモードの励起レーザ光を出射する縦シングルモードレーザを実現し、光伝送路上におけるモード分配雑音を除去してラマン利得の変動を抑えるようにしている。

【0020】つぎの発明にかかる光増幅中継伝送システムは、上記の発明において、前記複数の励起レーザは、マルチセクションDBRレーザであることを特徴とする。

【0021】この発明によれば、マルチセクションDBRレーザによって実質的に縦シングルモードの励起レーザ光を出射する縦シングルモードレーザを実現し、光伝送路上におけるモード分配雑音を除去してラマン利得の変動を抑えるようにしている。

【0022】つぎの発明にかかる光増幅中継伝送システムは、上記の発明において、前記複数の励起レーザは、前記光伝送路上における中継区間の接続数を自然数Nとし、前記ラマン増幅によるラマン利得をGとしたとき

に、各励起レーザの直流から前記光信号の伝送速度に対応する周波数に至るまでの相対強度雑音の積分値が、 $0.01 / ((N^{(1/4)} * \ln(G))^{(1/2)})$  以下であることを特徴とする。

【0023】この発明によれば、光伝送路における中継区間の接続数を自然数Nとし、前記ラマン増幅によるラマン利得をGとしたときにおける、各励起レーザの直流から前記光信号の伝送速度に対応する周波数に至るまでの相対強度雑音の積分値が、 $0.01 / ((N^{(1/4)} * \ln(G))^{(1/2)})$  以下となる励起レーザを用いて、励起レーザの相対強度雑音の影響を軽減するようにしている。

【0024】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、この発明にかかる光増幅中継伝送システムの好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0025】実施の形態1。まず、この発明の実施の形態1について説明する。図1は、この発明の実施の形態1である光増幅中継伝送システムにおける一中継区間の構成を示す図である。光増幅中継伝送システム全体は、図1に示した中継区間10が従属接続された構成となり、送信端には図示しない光送信器が接続され、受信端には図示しない光受信器が接続される構成となる。

【0026】図1において、信号光入力端子1には、図示しない前段の中継区間の出力である光信号が入力される。信号光出力端子2からは、この中継区間10によって増幅された光信号が出力され、図示しない後段の中継区間に入力される。中継区間10における信号光入力端子1と信号光出力端子2との間は、光ファイバ3によって接続される。

【0027】中継区間10は、波長多重回路8を有する。波長多重回路8は、第1の励起光源6および第2の励起光源7からの励起レーザ光を低損失で合波する。光ファイバ3上には、WDMカプラによって実現される光結合器4が設けられ、波長多重回路8によって合波された励起レーザ光は、光結合器4を介して光ファイバ3上に入力される。

【0028】波長多重回路8に入力される各励起レーザ光は、上述したように第1の励起光源6および第2の励起光源7によって発生される。励起光源制御回路9は、第1の励起光源6および第2の励起光源7の光出力を制御する。波長多重回路8から合波出力される励起レーザ光が光ファイバ3上に入力されると、ラマン増幅作用が生じ、光ファイバ3上における伝送損失が補償され、光ファイバ3上の光信号は、ほぼ同一電力レベルを維持した状態で伝送される。

【0029】光ファイバ3上には、さらに光アイソレータ5が設けられる。光アイソレータ5は、後段の中継区間におけるラマン増幅作用によって発生した自然放出光であって、光信号と逆方向に伝播される自然放出光を遮

断する。

【0030】第1の励起光源6および第2の励起光源7は、それぞれ半導体レーザ11、12と、波長選択性をもった反射器13、14と、半導体レーザ11、12と反射器13、14とをそれぞれ接続する数mm程度のそれぞれ所定長を有した光ファイバ15、16とを有する。反射器13および光ファイバ15と、反射器14および光ファイバ16とは、それぞれ半導体レーザ11、12の外部共振器を構成する。

【0031】したがって、各外部共振器は、光ファイバ15、16の共振器長に対応して、各半導体レーザ11、12が発するレーザ光のうちの所望の縦シングルモードのレーザ光を選択する。この選択された縦シングルモードのレーザ光は、反射器13、14から所定の透過率をもって波長多重回路13、14にそれぞれ出力される。この場合、半導体レーザ11、12の出力端の前面は、無反射コーティングされており、前面における反射率はほぼ0%に抑えられている。

【0032】この結果、光ファイバ15、16間での反射戻り光による低周波雑音や周期性雑音の発生が低減される。なお、無反射コーティングによらず、光ファイバ15、16の斜め研磨によっても反射戻り光による雑音発生を防ぐことができる。なお、半導体レーザ11、12は、それぞれ異なる発振波長をもつとともに、反射器13、14による波長選択も異なる。

【0033】したがって、第1の励起光源6および第2の励起光源7から出射される励起レーザ光は、雑音が低減され、出力変動の少ない縦シングルモードとして波長多重回路8に出力される。

【0034】この結果、従来の縦モードレーザで問題となったモード分配雑音による影響を抑圧することができる。すなわち、第1の励起光源6および第2の励起光源7から出射される励起レーザ光は、縦シングルモードであるので、原理的にモード競合によるモード分配雑音が発生せず、光ファイバ3上における励起レーザ光の分散に起因したモード分配雑音によるラマン利得の変動が発生しないことになる。

【0035】また、従来のコヒーレント・コラプス状態を利用した擬似的縦シングルモードレーザで問題となった相対強度雑音 (relative intensity noise) に起因するラマン利得の変動を回避することができる。

【0036】なお、上述した実施の形態1では、第1の励起光源6および第2の励起光源7とを、利得媒質としての半導体レーザ11、12と反射器13、14とこれらをそれぞれ接続する光ファイバ15、16とによって構成して実質的に縦シングルモードレーザ光を生成するようにしていたが、これに限らず、実質的に縦シングルモードレーザ光を出力するものであればよく、たとえば、半導体チップ上に集積化したマルチセクションDBR (分布ブラッグ反射型: Distributed Bragg Reflecto

r) レーザを第1および第2の励起光源6, 7として用いてもよい。

【0037】また、第1および第2の励起光源6, 7として、DFB（分布帰還型：Distributed feedback）レーザ、外部に波長選択素子としてのグレーティングを設けた外部回折格子付きレーザ、2つのレーザを従属接続して複合共振器構成をとったC<sup>3</sup>（Cleaved Coupled Cavity）レーザ等を用いて構成してもよい。要は、第1および第2の励起光源6, 7が、ラマン増幅帯域を広げることが出来る異なる波長であって、実質的に縦シングルモードを選択出力することができるものであればよい。

【0038】この実施の形態1によれば、光中継増幅伝送システムの各中継区間におけるラマン増幅用の励起レーザとして実質的に縦シングルモード光を出力する励起光源を用いるようにしているので、ラマン利得の変動を低減することができ、結果的に受信器端での伝送特性の劣化を防止することができる。

【0039】実施の形態2、つぎに、この発明の実施の形態2について説明する。上述した実施の形態1では、ラマン増幅の励起光源として実質的に縦シングルモード\*20

\* レーザ光を出力できる励起光源を用いて雑音を低減してラマン利得の変動を抑えるようにしていたが、この実施の形態2では、さらに励起光源の相対強度雑音の値が所定値以下となる励起光源を用い、これによってラマン利得の変動を抑え、受信感度の劣化を抑えるようにしている。

【0040】ラマン増幅作用を用いて、伝送速度B [bit/s]の光信号をN個の中継区間を介して伝送する光増幅中継伝送システムであって、各中継区間10の距離が約70kmのときの各中継区間10の光ファイバ損失が14.0dBである場合に、この光ファイバ損失をラマン増幅作用によって補償する光増幅中継伝送システムである場合、式(1)によって、励起レーザ光に必要な電力P<sub>p</sub>は、250mWとなる。

【0041】このとき、励起光源の相対強度雑音RIN(f)を用いて、中継区間数が「200」の中継区間を経由した光信号の受信器端の相対強度雑音rおよびパワーペナルティR<sub>p</sub>は、それぞれ次式(3)および(4)で示される。すなわち、

【数3】

$$r = \left( \left( \frac{\Delta G}{G} \right)^2 \cdot N \right)^{1/2} \\ = \frac{g_R}{K} \cdot \frac{L_{eff}}{A} \cdot \left( \int_0^B RIN(f) df \cdot P_p^2 \cdot N \right)^{1/2} \dots (3)$$

【数4】

$$R_p = -10 \cdot \log_{10} (1 - r^2 \cdot Q^2) \dots (4)$$

である。

【0042】なお、励起光源の相対強度雑音RIN(f)は、周波数fの関数である。また、「Q」は、パワーペナルティ（受信感度劣化）を定義する所定の符号誤り率における値であり、符号誤り率が「10<sup>-9</sup>」の場合における値Qは「6」である。値Qを「6」とし、受信器端の相対強度雑音rが「0.1」の場合、パワーペナルティは、2dBとなる。また、式(3)において、平方根を示す括弧内は、各中継区間で使用される励起レーザ光の電力の変動量に対する二乗平均の和を示している。この場合、各励起光源の出力変動は無相関であることを前提としている。

【0043】図2は、図1における中継区間10の数が200である場合における受信器端の受信感度劣化と励起光源の相対強度雑音との関係を示す図である。図2では、光信号の伝送速度をパラメータとし、10Gbit

/s、20Gbit/s、および40Gbit/sのときにおける符号誤り率が10<sup>-9</sup>での受信感度劣化と励起光源の相対強度雑音RINとの関係を示している。

30 【0044】図2において、符号誤り率「10<sup>-9</sup>」における励起光源の相対強度雑音に起因する受信感度劣化を2dB以下に抑圧するには、伝送速度が10Gbit/sの場合、励起光源の相対強度雑音RINを-154dB/Hz以下にし、伝送速度が20Gbit/sの場合、励起光源の相対強度雑音RINを-157dB/Hz以下にし、伝送速度が40Gbit/sの場合、励起光源の相対強度雑音RINを-160dB/Hz以下にすればよいことがわかる。

40 【0045】この場合、直流から伝送速度B [Hz]までの励起光源の相対強度雑音RIN(f)の積分値は、受信器端の相対強度雑音rを示す式(3)を参照し、受信器端の相対強度雑音rが0.1未満となるように、次式(5)を満足すればよい。すなわち、

【数5】

$$r = \frac{g_R}{K} \cdot \frac{L_{eff}}{A} \cdot \left( \int_0^B RIN(f) df \cdot P_P^2 \cdot N \right)^{1/2}$$

$$= \text{Ln}(G) \cdot \left( \int_0^B RIN(f) df \cdot N \right)^{1/2} \leq 0.1 \dots (5)$$

である。ここで、「Ln」は、自然対数を示す。

【0046】すなわち、中継区間数Nをもつ光伝送路に対してラマン利得Gのラマン増幅によって伝送速度Bの光伝送を行って、符号誤り率が $10^{-9}$ での受信感度劣化を2dB以下とするには、直流から伝送速度Bまでの励起光源の相対強度雑音 $RIN(f)$ の積分値Iが次式(6)を満足するようにすればよい。

【数6】

$$I = \int_0^B RIN(f) df$$

$$\leq \frac{0.01}{\text{Ln}(G)^{1/2} \cdot N^{1/4}} \dots (6)$$

【0047】この式(6)を満足する励起光源を、図1に示した第1および第2の励起光源として用いることによって、たとえば中継区間数が200である光増幅中継伝送システムにおける受信器端の受信感度劣化を2dB以下に抑えることができる。

【0048】この実施の形態2によれば、直流から伝送速度Bまでの励起光源の相対強度雑音の積分値が所定値内の励起光源を用いることによって、受信器端における受信感度劣化を抑えることができる。

【0049】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、励起手段の各励起レーザが、それぞれ波長の異なる複数の縦シングルモードの励起レーザ光を出力し、各励起レーザから出射された縦シングルモードの各励起レーザ光を光伝送路上に合波出力して送信器端から入力された光信号をラマン増幅し、光伝送路上におけるモード分配雑音を除去してラマン利得の変動を抑えるようにしているため、受信器端に入力される光信号の受信感度劣化を抑え、伝送特性の劣化を抑えることができるという効果を奏する。

【0050】つぎの発明によれば、半導体レーザと反射器との間で外部共振器を構成し、所望のレーザ光を波長選択することによって実質的に縦シングルモードの励起レーザ光を出射する縦シングルモードレーザを実現し、

光伝送路上におけるモード分配雑音を除去してラマン利得の変動を抑えるようにしているため、受信器端に入力される光信号の受信感度劣化を抑え、伝送特性の劣化を抑えることができるという効果を奏する。

【0051】つぎの発明によれば、マルチセクションDBRレーザによって実質的に縦シングルモードの励起レーザ光を出射する縦シングルモードレーザを実現し、光伝送路上におけるモード分配雑音を除去してラマン利得の変動を抑えるようにしているため、受信器端に入力される光信号の受信感度劣化を抑え、伝送特性の劣化を抑えることができるという効果を奏する。

【0052】つぎの発明によれば、光伝送路における中継区間の接続数を自然数Nとし、前記ラマン増幅によるラマン利得をGとしたときにおける、各励起レーザの直流から前記光信号の伝送速度に対応する周波数に至るまでの相対強度雑音の積分値が、 $0.01 / \{ (N^{1/2} \cdot \text{Ln}(G)^{1/2}) \}$ 以下となる励起レーザを用いて、励起レーザの相対強度雑音の影響を軽減するようにしているため、受信器端に入力される光信号の受信感度劣化を抑え、伝送特性の劣化を抑えることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1である光増幅中継伝送システムにおける一中継区間の構成を示す図である。

【図2】 中継区間数が200である場合における受信器端の受信感度劣化と励起光源の相対強度雑音との関係を示す図である。

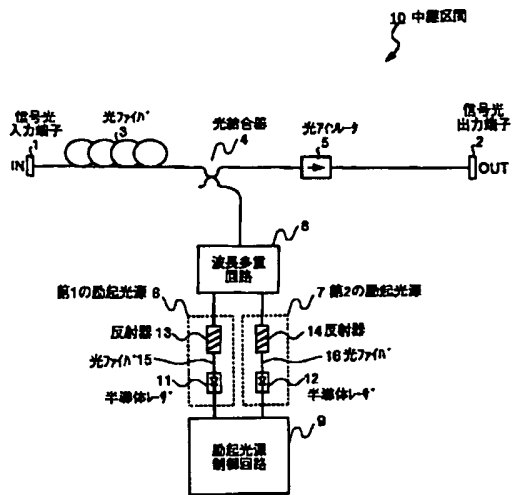
【図3】 従来の光増幅中継伝送システムにおける一中継区間の構成を示す図である。

【図4】 ラマン増幅利得の波長依存性を示す図である。

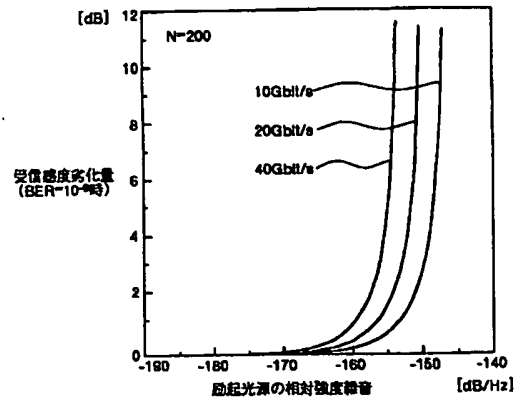
【符号の説明】

1 信号光入力端子、2 信号光出力端子、3, 15, 16 光ファイバ、4 光結合器、5 光アイソレータ、6 第1の励起光源、7 第2の励起光源、8 波長多重回路、9 励起光源制御回路、10 中継区間、11, 12 半導体レーザ、13, 14 反射器。

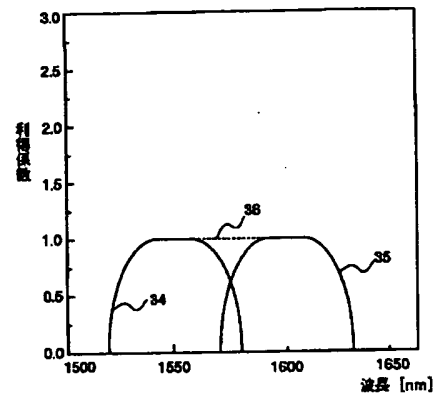
【図1】



【図2】



【図4】



【図3】

